Über die Respiration von Wasserpflanzen.

Von **Joseph Boehm.**

In Folge der Ergebnisse meiner Versuche über die Respiration von Landpflanzen in atmosphärischer Luft und in sauerstofffreien Medien[1] lag es auch nahe zu untersuchen, wie sich unter gleichen Verhältnissen wohl die Wasserpflanzen verhalten würden. Die Resultate einiger Vorversuche im Sommer 1872 liessen ein sehr abweichendes Verhalten vermuthen.

Schon die ersten Resultate[2] einer eingehenden Untersuchung, welche ich mir während der fast dreimonatlichen

---

[1] Sitzungsb. d. kais. Akad. d. W. in Wien. 63 Bd., 1. Abthlg. pag. 219. 1873.

[2] Die in dieser und in der folgenden Abhandlung beschriebenen Versuche wurden ganz in derselben Weise gemacht wie die Versuche über die Respiration von Landpflanzen. Die Versuchs-Objecte wurden in die je nach Umständen mit kaltem oder heissem Wasser gefüllten Absorptionsröhren eingeschoben, unter Wasserabschluss mit Wasserstoff gefüllt, in die Quecksilberwannen übertragen und durch Neigung der Röhren ein Theil des Gases durch Quecksilber ersetzt. Mittelst eines Platindrahtes wurden dann die Pflanzen in die geeignete Lage gebracht. Die Ablesung erfolgte durchschnittlich nach Ablauf einer Stunde nach der Einstellung der Röhren. Wie ich mich durch Einführung einer Phosphorkugel überzeugte, war nach dieser Zeit der Sauerstoff, welcher aus dem Wasser in das aus Zink und Schwefelsäure entwickelte Wasserstoffgas diffundirte, bei einer Temperatur von circa 20° C. vollständig verschwunden. In den meisten Fällen wurden dann die Absorptionsröhren mittelst passender Glasnäpfchen aus den Quecksilberwannen gehoben, um an bestimmten Orten aufgestellt zu werden. Zur Verhinderung des Eintrittes von Luft an den Seiten der Röhrenwände während der Versuchsdauer wurden die kleinen Glascylinder mit Wasser bedeckt. Ich operirte gleichzeitig fast immer mit 12 Absorptionsröhren.

Ferien im Weltausstellungsjahre 1873 durchzuführen vorgenommen hatte, entkräfteten allerdings manche „interessante“ Hypothese; es zeigten sich übrigens von der Respiration der Landpflanzen immerhin sehr bedeutende graduelle Verschiedenheiten, die zu weiteren diesbezüglichen Studien dringend einluden. Im Verlaufe der Arbeit trat jedoch eine Erscheinung auf, welche bald mein ganzes Interesse in Anspruch nahm und die ursprünglich gestellte Frage in den Hintergrund drängte.

In meiner Abhandlung „Über die Respiration der Landpflanzen“ habe ich bekanntlich nachgewiesen, dass Landpflanzen in einer irrespirablen, aber sonst indifferenten Atmosphäre nicht sofort ersticken, sondern dass dieselben sich die für die weiteren Lebensprocesse nöthigen Kräfte durch eine eigenthümliche Verbrennung eines Theiles ihres Leibes (Zerfall von Zucker in Kohlensäure und Alkohol), welche früher schon von Adolf Mayer bei der Bierhefe mit „innerer Verbrennung, innerer Athmung“ bezeichnet wurde, verschaffen.

Die Menge des von Landpflanzen sowohl bei gewöhnlicher Respiration verbrauchten Sauerstoffes als die der bei innerer Athmung gebildeten Kohlensäure ist eine ziemlich bedeutende. Ein Fiederblättchen von *Juglans regia* von einem durchschnittlichen Volumen von 1·83 CC. bildete im Mittel von 10 Versuchen nach siebenstündiger Versuchsdauer im Dunkeln bei einer Temperatur von 19 bis 32·5° C. in atmosphärischer Luft 3·62 CC. Kohlensäure (l. c. Tab. 16 u. 17). Bei Versuchen in Wasserstoff im Dunkeln wurden von einem Durchschnittsblatte von 1·58 CC. Volumen bei gleicher Versuchsdauer und einer Temperatur von 21 bis 29·4° C. ebenfalls im Mittel von 10 Versuchen 3·21 CC. Kohlensäure erzeugt (l. c. Tac. 2 u. 3)[1].

Ich war nun anfangs sehr überrascht zu sehen, dass bei gleichartigen Versuchen mit Wasserpflanzen in Wasserstoffgas

---

[1] Obwohl die Menge der Kohlensäure, welche von Juglansblättern in atmosphärischer Luft und in völlig sauerstofffreiem Wasserstoffe unter sonst gleichen Verhältnissen gebildet wird, fast dieselbe ist, sind Grösse und Nutzeffect der hierbei ausgelösten Kräfte natürlich sehr verschieden.

und bei Lichtabschluss[1] eine relativ viel geringere Volumsvergrösserung erfolgte[2].

Bei der grossen Analogie des vegetabilischen und animalischen Respirationsprocesses kann diese Erscheinung auf die Dauer nicht befremden, ja sie konnte bei einiger Überlegung vielleicht sogar schon a priori gefolgert werden. So wie der Stoffwechsel bei allen Kiemenathmern unvergleichlich langsamer erfolgt als bei den warmblütigen Thieren, so ist auch die innere Verbrennung bei den Hydrophyten bedeutend weniger energisch als bei den Landpflanzen. Bei *Cladophora* betrug die Volumsver-

---

[1] Bei gleichzeitigen Versuchen mit gesunden Pflanzen im vollen Tageslichte blieb das Gasvolumen ganz oder nahezu ganz unverändert. Eine eingeführte Phosphorkugel begann alsbald zu rauchen, zum Beweise, dass sich um die Pflanzen eine sauerstoffhältige Atmosphäre gebildet hatte. Über die Sauerstoffquelle kann wohl nicht der geringste Zweifel bestehen: Die Pflanze zerlegt die zuvor in Folge innerer Verbrennung gebildete Kohlensäure. Der allfällige Einwand, dass dieser Sauerstoff von zerlegtem Wasser stamme. widerlegt sich gründlich dadurch, dass die Pflanzen in ausgekochtem Wasser dem Lichte exponirt früher absterben als in sauerstofffreiem Wasserstoffe. Ich halte überhaupt die vielseitig verfochtene aber durch nichts begründete Hypothese, dass die Pflanzen (wenigstens die grünen) das Wasser ebenso zerlegen können wie die Kohlensäure, für ganz irrig.

[2] Für einen diesbezüglichen Vergleich wäre es freilich nothwendig dass nur die Leistungen nicht blos gleich grosser, sondern in ihrer Weise auch möglichst gleichartiger Mengen von Land- und Wasserpflanzen in Betracht gezogen würden, eine Forderung, der nicht leicht völlig entsprochen werden kann. — Bei meinen Versuchen über die Respiration von Landpflanzen habe ich das Volumen der verwendeten Blätter durch Eintauchen derselben in ein kalibrirtes Messrohr bestimmt; das Steigen der Wassersäule gab die gesuchte Zahl. Bei Wasserpflanzen, zumal Algen, ist diese Volumsbestimmung viel unzuverlässiger. Um möglichst viel adhärirendes Wasser ohne merkliche Schädigung der Pflanzen zu entfernen, hing ich dieselben kurz vor dem Einführen in das Messrohr auf einen glatten horizontalen Holzstab. – Bei allen Versuchen verwendete ich je 3 CC. derartig vorbereiteter, möglichst frischer Pflanzen, welche in offenen Wassergefässen von ihren Standorten ins Laboratorium gebracht wurden. — *Cladophora fracta* und *Oedogonium tumidulum* — unmittelbar vor dem Versuche aus Bassins des botanischen Gartens. Man sollte nun wohl glauben, dass 3 CC. nasser Wasserpflanzen einem um die Hälfte kleineren Volumen von Wallnussblatt in respiratorischer Beziehung dem Quantum nach mindestens gleichwerthig seien.

grösserung blos den vierten und bei *Oedogonium* gar nur den sechsten Theil von jener Kohlensäure-Menge, welche von einem dem Rauminhalte nach eher kleineren als grösseren Wallnussblatte unter gleichartigen Bedingungen erzeugt wurde. Diese gefundenen Differenzen sind den factischen gegenüber wahrscheinlich noch viel zu gering; meine Zahlen machen aber auch aus mancherlei, theilweise schon erwähnten Gründen keinen Anspruch auf grössere Genauigkeit.

Zu den Schwierigkeiten bei der Wahl der Objecte für vergleichende Untersuchungen kommt nämlich noch der Umstand, dass die Pflanzen, wenigstens theilweise, schon nach relativ kurzer Versuchsdauer absterben und in Folge verschiedenartiger Gährungsprocesse, die sie nun erleiden, Gase entbinden oder absorbiren, wodurch die erhaltenen Resultate, wie ein Blick auf Tabelle I dieser und der folgenden Abhandlung lehrt, natürlich ganz illusorisch werden.

Noch weniger brauchbare Zahlen für den Vergleich über die Intensität der Respiration von Land- und Wasserpflanzen als Versuche in Wasserstoffgas lieferten solche mit *Oedogonium* in atmosphärischer Luft. (Tabelle II.) In allen 12 Fällen erfolgte während der 7½ bis 8stündigen Versuchsdauer eine auffallende Verminderung des Gasvolumens — eine Erscheinung, welche in der nächsten Abhandlung näher besprochen werden soll. Zu künftigen Versuchen über die Respiration müssen weniger zarte Pflanzen gewählt werden.

Den echten Wasserpflanzen in respiratorischer Beziehung nahe zu stehen scheinen jene Sumpfpflanzen, welche unter Umständen auch ganz unter Wasser leben können[1]. Meine Versuche mit *Berula angustifolia* sind aber viel zu wenig zahlreich

[1] Dass sich gewisse Landpflanzen dem Vegetiren unter Wasser bisweilen selbst unter theilweiser Änderung ihres anatomischen Baues accomodiren können, ist bekannt. Durch den Versuch kann man sich von einer solchen Anpassung leicht bei 3 bis 4 Tage alten Kresspflänzchen überzeugen. Bringt man dieselben nämlich unter Wasser, so leben und wachsen sie bis zur Aufzehrung aller Reservenahrung und ergrünen im Lichte intensiv. In ausgekochtem Wasser oder in grösserer Menge mit nicht viel gewöhnlichem Wasser luftfrei in ein Gefäss eingeschlossen, gehen sie alsbald zu Grunde.

und die Volumsbestimmung viel zu ungenau, um nur einigermassen berechtigte Schlüsse daraus ziehen zu können. Über die hierbei und bei Versuchen mit *Chara*, *Fontinalis*, *Potamogeton* und *Ranunculus aquatilis* erhaltenen Resultate gibt die Tabelle I Aufschluss.

Wie mangelhaft meine bisherigen diesbezüglichen Versuche und Resultate [1] auch sind, so ergibt sich aus denselben doch mit zweifelloser Sicherheit:

1. Dass die Menge des bei der Respiration von Wasserpflanzen in atmosphärischer Luft verbrauchten Sauerstoffes eine viel geringere ist als unter sonst gleichen Verhältnissen bei Landpflanzen. (Tabelle II.)

2. Dass in gleicher Weise von Wasserpflanzen in einer völlig sauerstofffreien aber sonst indifferenten Atmosphäre in Folge innerer Athmung wohl Kohlensäure gebildet wird, aber viel weniger als unter sonst gleichen Verhältnissen bei Landpflanzen. (Tabelle I.)

Es verhalten sich also bezüglich der Intensität der Respiration die Wasserpflanzen zu den Landpflanzen in ähnlicher Weise wie die Kiemenathmer zu den warmblütigen Thieren.

---

[1] Eine vorläufige Mittheilung derselben schien mir insbesondere deshalb wünschenswerth, weil sie die erste empirische Veranlassung und Grundlage zu der folgenden Abhandlung gebildet haben.

Tabelle I.

Oedogonium tumidulum.

In Wasserstoffgass im Dunkeln.

Versuchszeit, Versuchsdauer und Temperatur	Behandlung der Versuchspflanzen	Versuchsnummer	Volumänderung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Verschwundener (—) oder gebildeter (?) (+) Wasserstoff
17. Juli $8^1/_2$ Stunden 30° C.	frisch	1.	+ 0·792	1.272	— 0.480
		2.	+ 0.794	1.069	— 0.275
		3.	+ 0.873	1.576	0.703
		4.	+ 0.744	1.368	— 0.624
19. bis 20. Juli, 22 Stunden, 24 bis 29° C.	frisch	5.	+ 1.226	2.241	— 1.015
		6.	+ 1.617	3.037	— 1.420
		7.	+ 1.072	3.524	— 2.452
22. bis 23. Juli, 25 Stunden, 24 bis 31° C.	frisch	8.	+ 0.427	1.753	— 1.326
		9.	+ 0.863	1.646	— 0.783
		10.	— 1.736	1.992	— 3.728
	getrocknet, kalt aufgeweicht	11.	— 0.864	0.665	— 1.529
		12.	— 1.042	0.744	— 1.786
		13.	— 1.737	0.808	— 2.545
24. bis 26. Juli, 25 Stunden, 23 bis 32° C.	getrocknet, gekocht, kalt eingefüllt	14.	+ 0.820	1.731	— 0.911
		15.	+ 0.937	1.629	— 0.692
		16.	+ 1.545	2.384	— 0.839
	getrocknet, gekocht, heiss eingefüllt	17.	+ 0.878	0.518	+ 0.360
		18.	+ 0.924	0.855	+ 0.069
		19.	+ 0.841	0.970	— 0.129
27. bis 30. Juli, 80 Stunden, 23 bis 36° C.	frisch	20.	In drei Absorptionsröhren wurde der Wasserstoff (29—31 CC.) vollständig absorbirt; der kleine nicht absorbirte Gasrest bestand aus Stickstoff und einer quantitativ nicht bestimmten Spur von Kohlensäure [1]		

[1] Bei einer Temperatur von 17° C. (im Keller) war von einer annähernd gleichen Algenmenge in derselben Zeit (ebenfalls in 3 Röhren) kaum die Hälfte Wasserstoff absorbirt.

Versuchs-pflanze	Versuchszeit und Temperatur	Versuchs-nummer	Volumvergrösserungen in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Überschuss in CC.
Vaucheria spec. [1]	16. August 8 Stunden 25 bis 26° C.	16.	0.940	1.284	0.344
		17.	1.374	1.723	0.349
		18.	1.406	1.689	0.283
Fontinalis antipyretica	16. August 8 Stunden 25 bis 26° C.	19.	0.418	0.652	0.234
		20.	0.775	1.141	0.366
		21.	0.942	1.380	0.438
Potamogeton pusillus	17. August 8½ Stunden 25 bis 27° C.	22	1.884	2.125	0.251
		23.	1.637	1.941	0.304
		24.	2.075	2.752	0.677
Ranunculus aquatilis	17. August 8½ Stunden 25 bis 27° C.	25.	1.113	1.524	0.411
		26.	0.942	1.172	0.230
		27.	1.461	1.939	0.478
Berula angustifolia	1. September 8¼ Stunden 24 bis 26° C.	28.	1.266	1.673	0.407
		29.	1.843	2.218	0.375
		30.	2.147	2.471	0.324

[1] Eine sehr grossschlauchige Art; gesammelt neben *Fontinalis antipyretica* in einem Mühlbache bei Moosbrunn.

Tabelle II.

Versuche mit *Oedogonium tumidulum* in atmosphärischer Luft im Dunkeln.

Die Versuchsdauer variirte von 7½ bis 8 Stunden.

Versuchszeit und Temperatur	Versuchsnummer	Verwendete Luftmenge in CC.	Darin enthaltener Sauerstoff in CC.	Contraction während des Versuches in CC.	Gefundene Kohlensäure in Pct.	Gefundener Sauerstoff in Pct.	Summe der Kohlensäure und des Sauerstoffes in CC.	Summe der Contraction des Sauerstoffes und der Kohlensäure
6. August 17° C. In einem Keller	31.	31·30	6,560	0,649	4,688	13,590	5.722	6.371
	32.	32·77	6,868	0,864	5,753	12,970	6,135	6,999
	33.	35·64	7,469	0,928	4,310	14,168	6,258	7.166
	34.	31·75	6,656	0,454	4,839	11,910	6,288	6.712
8. August 22·5° C. Im Gaszimmer	35.	33·57	7,037	0,936	5,378	13,892	6 500	7.436
	36.	36·37	7,623	0,961	6,354	12·321	6.789	7.750
	37.	32·28	6,876	0,320	6,840	12,153	6,569	6 880
	38.	30·53	6·398	0,816	5,820	12,058	5,460	6,276
20. August 25 bis 27° C. In einem südseitigen Zimmer	39.	33·94	7.115	1,391	8.256	7 775	5.412	6 833
	40.	34·89	7,314	0,522	5,641	13.730	6.761	7 283
	41.	34·06	7.141	1,811	6,473	8,711	5.168	6.979
	42.	36·73	7.700	0,947	6.436	11.850	6.716	7 663